

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi ke bentuk lainnya. Menurut dari sumber didapatnya, energi terbagi menjadi 2 antara lain:

1. Energi Konvensional (Tak Terbarukan)

Energi Konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Dikatakan tak terbarukan karena apabila sejumlah sumbernya dieksploitasi, maka untuk mengganti sumbernya dalam jumlah yang sama akan memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Jika sumber energi ini dieksploitasi secara terus-menerus pasti persediaannya akan menipis dan mungkin akan habis. Biasanya sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui berasal dari barang tambang (minyak bumi dan batu bara) dan bahan galian (emas, perak, timah, besi, nikel dan lain-lain).

2. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dihasilkannya tak terhabiskan dan dapat diperbarui dengan proses yang berkelanjutan. Sumber energi terbarukan ini dianggap sebagai sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Sumber energi ini belumlah banyak dimanfaatkan oleh banyak orang dan masih perlu terus dikembangkan. Sumber energi ini dapat berasal dari alam sekitar yaitu angin, air, *biogas*, *biomass* dan energi matahari.

2.1.1. Perkembangan Energi dan PLTA

Sebagian besar negara di dunia termasuk Indonesia, suplay energi listrik masih mengandalkan bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas dan mulai menipis, untuk itu perlu dicarikan energi alternatif lain dan salah satunya adalah energi air. Potensi sumber energi fosil di Indonesia maupun didunia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu tertentu akibat adanya penambahan konsumsi serta perkembangan dunia industri yang meningkat. Berdasarkan data blueprint pengelolaan energi nasional 2005-2025 yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi, gas dan batu bara di Indonesia akan habis dalam kurun tahun tertentu ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Cadangan Energi Fosil

Jenis Energi Fosil	Cadangan	
	Indonesia	Dunia
Minyak Bumi	18 Tahun	40 Tahun
Gas Alam	61 Tahun	60 Tahun
Batubara	147 Tahun	200 Tahun

Sumber : DESDM (2005)

Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial di Indonesia adalah energi air dan apabila pemanfaatan energi tersebut dilakukan secara meluas diseluruh wilayah Indonesia maka peluang untuk keluar dari krisis energi akan semakin besar. Pertimbangan konversi energi dan lingkungan hidup menuntut kita untuk segera dapat memanfaatkan energi air. Berikut potensi energi terbarukan di Indonesia tabel 2.

Tabel 2. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Sumber Energi	Potensi (MW)	Terpasang (MW)	Pemanfaatan (MW)
Air	75.670	4.200	5,550
Biomassa	49.810	302,4	0,607
Panas Bumi	27.000	800	2,960
Mikro Hidro	458,75	84	18,30
Energi Cahaya	156,487	84	18,30
Angin	9.286	0,5	0,005
Total	318.711,75	5.391,9	27,427

Sumber : Blueprint Pengolahan Energi Nasional (2005 – 2025)

Potensi tenaga air di Indonesia menurut Hydro Power Potential Study (HPPS) pada tahun 1983 adalah 75.000 MW, dan angka ini diulang kembali pada Hydro power inventory study pada tahun 1993. Namun pada laporan Master Plan Study for Hydro Power Development in Indonesia oleh Nippon Koei pada tahun 2011, potensi tenaga air setelah menjalani screening lebih lanjut adalah 26.321 MW, yang terdiri dari proyek yang sudah beroperasi (4.338 MW), proyek yang direncanakan dan sedang konstruksi (5.956 MW) dan potensi baru (16.027 MW).

Tabel 3. Potensi Proyek PLTA dalam Masterplan Of Hydro Power Development

NO	NAMA	TIPE	PROVINSI	KAP. (MW)	NO	NAMA	TIPE	PROVINSI	KAP. (MW)	NO	NAMA	TIPE	PROVINSI	KAP. (MW)
1	Peusangan 1-2	ROR	Aceh	86	28	Pinoh	RES	Kalbar	198	54	Kuantan-2	RES	Sumbar	272
2	Jambo Papeun-3	ROR	Aceh	25	29	Kelai-2	RES	Kaltim	168	55	Endikat-2	ROR	Sumsel	22
3	Kluet-1	ROR	Aceh	41	30	Besai-2	ROR	Lampung	44	56	Asahan 3	ROR	Sumut	174
4	Meulaboh-5	ROR	Aceh	43	31	Semung-3	ROR	Lampung	21	57	Asahan 4-5	RES	Sumut	60
5	Peusangan-4	ROR	Aceh	31	32	Isal-2	RES	Maluku	60	58	Simanggo-2	ROR	Sumut	59
6	Kluet-3	ROR	Aceh	24	33	Tina	ROR	Maluku	12	59	Kumbih-3	ROR	Sumut	42
7	Sibubung-1	ROR	Aceh	32	34	Tala	RES	Maluku	54	60	Sibundong-4	ROR	Sumut	32
8	Seunangan-3	ROR	Aceh	31	35	Wai Rantjang	ROR	NTT	11	61	Bila-2	ROR	Sumut	42
9	Teunom-1	RES	Aceh	24	36	Bakanu (2nd)	ROR	Sulsel	126	62	Raisan-1	ROR	Sumut	26
10	Woyla-2	RES	Aceh	242	37	Poko	RES	Sulsel	233	63	Toru-2	ROR	Sumut	34
11	Ramasan-1	RES	Aceh	119	38	Masuni	RES	Sulsel	400	64	Ordi-5	ROR	Sumut	27
12	Teripa-4	RES	Aceh	185	39	Mong	RES	Sulsel	256	65	Ordi-3	ROR	Sumut	18
13	Teunom-3	RES	Aceh	102	40	Batu	RES	Sulsel	271	66	Siria	ROR	Sumut	17
14	Tampur-1	RES	Aceh	330	41	Poso-2	ROR	Sulteng	133	67	Lake Toba	PST	Sumut	400
15	Teunom-2	RES	Aceh	230	42	Lariang-6	RES	Sulteng	209	68	Toru-3	RES	Sumut	228
16	Padang Guci-2	ROR	Bengkulu	21	43	Konaweha-3	RES	Sulteng	24	69	Lawe Mamas	ROR	Aceh	50
17	Warsamson	RES	Irian Jaya	49	44	Lasolo-4	RES	Sulteng	100	70	Simpang Aur	ROR	Bengkulu	29
18	Jatigede	RES	Jabar	175	45	Watunohu-1	RES	Sultra	57	71	Rajamandala	ROR	Jabar	58
19	Upper Cisokan-PS	PST	Jabar	1000	46	Tamboli	ROR	Sultra	26	72	Cibareno-1	ROR	Jabar	18
20	Matenggeng	PST	Jabar	887	47	Sawangan	ROR	Sulut	16	73	Mala-2	ROR	Maluku	30
21	Merangin-2	ROR	Jambi	350	48	Poigar-3	ROR	Sulut	14	74	Malea	ROR	Sulsel	182
22	Merangin-5	RES	Jambi	24	49	Masang-2	ROR	Sumbar	40	75	Bonto Batu	ROR	Sulsel	100
23	Maung	RES	Jateng	360	50	Sinamar-2	ROR	Sumbar	26	76	Karama-1	RES	Sulsel	800
24	Kalikonto-2	0	Jatim	62	51	Sinamar-1	ROR	Sumbar	37	77	Poso-1	ROR	Sulteng	204
25	Karangates Ext.	RES	Jatim	100	52	Anai-1	ROR	Sumbar	19	78	Gumanti-1	ROR	Sumbar	16
26	Grindulu-PS-3	PST	Jatim	1000	53	Batang Hari-4	RES	Sumbar	216	79	Wampu	ROR	Sumut	84
27	K. Konto-PS	PST	Jatim	1000										

Sumber : Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (2016 – 2050)

PLN bermaksud akan mengembangkan sebagian besar dari potensi tenaga air tersebut sebagai proyek PLN. Selain daftar tersebut di atas terdapat juga beberapa potensi tenaga air yang perlu kajian lebih lanjut seperti diberikan pada Tabel 3.

Tabel 4. Potensi Tenaga Air yang Perlu Kajian Lebih Lanjut

N o	Nama	Provinsi	Tipe	KAP. (MW)	N o	Nama	Provinsi	Tipe	KAP. (MW)
1	Kluet	Aceh	ROR	87	25	Riam Kiwa	NTT	RES	42
2	Woyla-5	Aceh	ROR	56	26	Sentani	Papua	ROR	20
3	Meurebo-3	Aceh	ROR	100	27	Tumbuan	Sulbar	ROR	450
4	Tripa 1	Aceh	ROR	100	28	Seko 2	Sulsel	ROR	90
5	Tampur	Aceh	RES	428	29	Batu	Sulsel	RES	200
6	Lawe alas	Aceh	RES	150	30	Buttu Batu	Sulsel	RES	200
7	Jambu Aye	Aceh	RES	160	31	Makale	Sulsel	ROR	45
8	Ranau	Bengkulu	ROR	3x21	32	Poso 2 Peaking	Sulteng	ROR	180
9	Cimandiri 3	Jabar	RES	110	33	Poso 3	Sulteng	RES	300
10	Cipasang	Jabar	RES	400	34	Palu 3	Sulteng	RES	75
11	Cikaso-3	Jabar	RES	53	35	La'a	Sulteng	ROR	160
12	Cibuni-4	Jabar	RES	105	36	Tinauka	Sulteng	RES	300
13	Cibuni-3	Jabar	RES	172	37	Lariang Muisi	Sulteng	ROR	127
14	Merangin-5	Jambi	RES	21	38	Kotaagung	Sumsel	ROR	2x13,7
15	Rawalo-1	Jateng	RES	10	39	Lematang	Sumsel	RES	2x25
16	Grindulu	Jatim	PS	1000	40	Pahae Julu	Sumut	ROR	2x9
17	Kembayung	Kalbar	ROR	3x10	41	Mandoge	Sumut	ROR	3x10
18	Muara Juloi	Kalsel	RES	284	42	Lau Gunung	Sumut	ROR/RES	16
19	Kayan 3	Kaltara	RES	1200	43	Mandoge	Sumut	RES	27
20	Kayan-2	Kaltara	RES	500	44	Siborpa	Sumut	RES	120
21	Kayan 1	Kaltara	RES	660	45	Cinendang	Sumut	ROR/RES	80
22	Tabang	Kaltim	RES	354	46	Garoga	Sumut	ROR/RES	40
23	Boh	Kaltim	RES	9x100	47	Ordi-5	Sumut	ROR	27
24	Watupanggantu	NTT	ROR	15	48	Aek Kuala	Sumut	ROR	27

Sumber : Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (2016 – 2050)

2.2. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu serta instalasi. Pembangkit listrik kecil yang dapat menggunakan tenaga air pada saluran irigasi dan sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*, dalam m) dan jumlah debit airnya (m³/detik). Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi

listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 5. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas (kW)
Mikro Hidro	< 100
Mini Hidro	101-2.000
Small Hidro	2.001-25.000
Large Hidro	>25.000

Sumber: Teacher Manual Diploma Hydro Power

Dari tabel 3 diatas pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas dibawah 100 kW. PLTMH bisa menjadi salah satu alternatif penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan (*clean energy*) yang dapat menjangkau daerah-daerah terpencil.

PLTMH umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of river* dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke satu sisi dari sungai tersebut selanjutnya mengalirkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. Air dialirkan ke *power house* (rumah pembangkit) yang biasanya dibangun dipinggir sungai. Air akan memutar sudu turbin/kincir air (*runner*), kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Pembangkit listrik tenaga air dibawah 200 kW digolongkan sebagai PLTMH.

Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebasnya yaitu "energi putih". Sebab instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat

air mengalir. Dengan perkembangan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi dari pengaruh perbedaan ketinggian dengan daerah tertentu (tempat instalasi yang akan dibangun) akan dapat diubah menjadi energi listrik.

Mikrohidro merupakan sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku, namun mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro dapat menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan minihidro daya keluarannya berkisar antara 100 sampai 5000 W. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik, sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban). Begitulah secara ringkas proses Mikrohidro merubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik. Peningkatan kebutuhan suplai daya ke daerah-daerah pedesaan di sejumlah negara, sebagian untuk mendukung industri-industri dan sebagian untuk menyediakan penerangan di malam hari. Kemampuan pemerintah yang terhalang oleh biaya yang tinggi untuk perluasan jaringan listrik, membuat Mikrohidro memberikan sebuah alternatif ekonomi ke dalam jaringan. Hal ini dikarenakan Skema Mikrohidro yang mandiri dapat menghemat dari jaringan transmisi, karena skema perluasan jaringan tersebut biasanya memerlukan biaya peralatan dan pegawai yang mahal.

Potensi sumber daya air yang melimpah di Indonesia karena banyak terdapatnya hutan hujan tropis, membuat kita harus bisa mengembangkan potensi ini, karena air adalah sebagai sumber energy yang dapat terbarukan dan alami. Bila hal ini dapat terus dieksplorasi, konversi air menjadi energy listrik sangat menguntungkan bagi negeri ini. Di Indonesia telah terdapat banyak sekali PLTMH

dan waduk untuk menampung air, tinggal bagaimana kita dapat mengembangkan PLTMH menjadi lebih baik lagi dan lebih efisien.

2.3. Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air/air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin kita hubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) ataupun sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman (sekring).

Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada. Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \rho g Q H \dots\dots\dots (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

ρ = Densitas (kg/m^3)

g = gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

H = beda ketinggian (m)

2.4. Jenis Turbin

Pengelompokkan jenis turbin dapat didasarkan dari cara kerjanya, konstruksinya (susunan poros dan pemasukkan air) dan kecepatan spesifiknya.

2.4.1. Jenis turbin menurut cara kerjanya

a. Turbin aksi atau turbin impuls

Turbin aksi atau impuls adalah turbin yang berputar karena adanya gaya impuls dari air. Yang termasuk kedalam turbin jenis ini yaitu turbin Pelton.

b. Turbin reaksi

Pada turbin reaksi air masuk kedalam jaringan dalam keadaan bertekanan dan kemudian mengalir ke sudu. Sewaktu air mengalir ke sekeliling sudu piringan, turbin akan berputar penuh dan saluran belakang (*tail race*) akan terendam air seluruhnya. Tinggi angkat air sewaktu mengalir ke sekeliling sudu akan diubah menjadi tinggi angkat kecepatan dan akhirnya berkurang hingga tekanan atmosfer sebelum meninggalkan piringan turbin. Yang termasuk ke dalam jenis ini adalah turbin Francis dan Kaplan.

2.4.2. Jenis turbin berdasarkan susunan poros

a. Turbin poros vertikal

Yang termasuk turbin jenis ini adalah turbin propeller dan turbin pelton.

b. Turbin poros horizontal

Yang termasuk turbin jenis ini adalah turbin Crossflow, Francis dan Kaplan.

2.5. Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan pengembangan dari turbin impuls yang ditemukan oleh S.N. Knight (1872) dan N.J. Colena (1873) dengan pasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang amerika Lester G. Pelton (1880) yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikan menyamping. Pada turbin Pelton putaran terjadi akibat pembelokan pada mangkok ganda runner Oleh sebab itu turbin pelton disebut juga sebagai turbin pancaran bebas. Turbin Pelton merupakan suatu jenis turbin yang mengandalkan

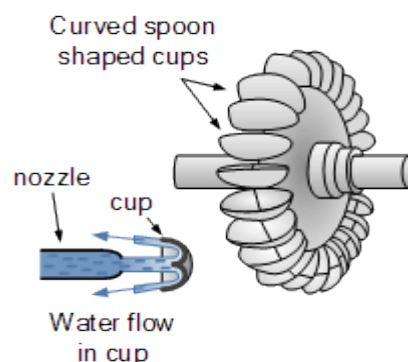
suatu reaksi impuls dari suatu daya yang dihasilkan dari daya hidrolisis. Semakin tinggi head yang dimiliki maka semakin baik untuk turbin jenis ini. Walaupun ns (kecepatan spesifik) relatif kecil tapi memungkinkan untuk kecepatan yang tinggi dengan ketentuan jumlah nosel yang banyak dalam meningkatkan daya yang lebih tinggi. Sehingga jika putaran dari generator yang dikopel ke turbin semakin tinggi, maka generator yang digunakan akan semakin murah.



Gambar 1. Turbin pelton

(sumber : *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 9, No. 1, 2006: 16 – 24)

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah – tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya – gaya samping. Untuk turbin dengan daya besar, sistem penyemprotan airnya lewat beberapa nosel. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro, head 20 meter sudah mencukupi.



Gambar 2. Nozel/Injektor Turbin Pelton

(Sumber: *Danillo Cappechi*, 2013:13)

2.5.1. Tipe turbin Pelton

Ada beberapa jenis turbin pelton menurut posisi turbinnya, yaitu :

1. Turbin Poros Horizontal ; turbin ini digunakan untuk head kecil hingga menengah. Makin banyak aliran air yang dibagi dalam arti makin banyak nosel yang digunakan, makin bisa dipertinggi pula pemilihan kecepatan turbin. Sedangkan makin cepat putaran turbin makin murah harga generatornya. Untuk dapat menghasilkan daya yang sama 1 group turbin dengan 2 roda akan lebih murah daripada dengan dua buah turbin yang masing-masing dengan satu buah roda.
2. Turbin Poros Vertikal ; Dengan bertambahnya daya yang harus dihasilkan turbin, maka untuk turbin pelton dilengkapi dengan 4 s/d 6 buah nosel. Sedangkan penggunaan 1 atau 2 buah pipa saluran air utama tergantung kepada keadaan tempat dan biaya pengadaannya.

2.6. Dasar Persamaan Turbin Pelton

Untuk menghitung parameter – parameter yang dapat diukur pada turbin pelton dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

1. Energi Potensial Air

Energi potensial air adalah energi yang memanfaatkan jatuh air dari ketinggian tertentu. Untuk menghitung energi potensial air dapat ditentukan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Ep = \rho Q g H \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

Ep = Energi Potensial (Watt)

ρ = Densitas (kg/m^3)

g = gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

H = beda ketinggian (m)

2. Potensi Energi Air (E_k)

Potensi energi air selain memanfaatkan energi air jatuh, energi air juga dapat diperoleh dari aliran kecepatan air datar. Untuk menghitung energi kinetik air dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

E_k = Energi Kinetik (Watt)

ρ = Densitas (kg/m^3)

V = kecepatan aliran air (m/s)

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

3. Luas Penampang Pipa

Untuk menghitung luas penampang pipa dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

A = Luas penampang pipa (m^2)

d = diameter dalam pipa (m)

4. Kecepatan aliran Air

Untuk menghitung kecepatan aliran air dapat digunakan persamaan sebagai berikut (*Kjartan Furnes, 2013*):

$$v = kv \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran air (m/s)

g = gravitasi (m/s^2)

h = beda ketinggian (m)

kv = koefisien kecepatan (0,96)

5. Debit Air

Untuk menghitung jumlah debit air yang mengalir dapat digunakan persamaan kontinuitas sebagai berikut (Dakso Sriyono Fritz, 1993):

$$Q = A_1 V_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A_1 = luas permukaan pipa (m)

V_1 = kecepatan aliran air melalui pipa (m/s)

A_2 = luas permukaan nosel(m)

V_2 = kecepatan aliran air melalui nosel (m/s)

6. Kecepatan keliling turbin pelton

Untuk menghitung kecepatan keliling turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut (*Kjartan Furnes, 2013*):

$$U = 2 \pi n r = \frac{1}{2} v \cos \alpha \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

U = kecepatan keliling kincir (m/s)

n = jumlah putaran turbin (rpm)

r = jari – jari turbin (m)

v = kecepatan aliran air (m/s)

α = sudut aliran ke turbin terhadap garis aksial atau radial

7. Jumlah putaran turbin pelton

Untuk menghitung jumlah putaran turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut (*Kjartan Furnes, 2013*):

$$n = \frac{60 U}{\pi D} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

n = jumlah putaran turbin (rpm)

U = Kecepatan keliling (m/s)

D = Diameter runner

8. Gaya Tangensial turbin pelton

Untuk menghitung gaya tangensial turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut, (*Kjartan Furnes, 2013*):

$$F = \rho \times Q \times (v - U)(1 - \cos \beta/2) \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

F = Gaya Tangensial Turbin (N)

ρ = densitas air (1000 kg/m³)

Q = Laju Alir Fluida (m³/s)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

U = kecepatan keliling turbin (m/s)

$\beta/2$ = Sudut pancaran air keluar sudu (sudut pantul) (160° s.d 170°)

9. Torsi turbin pelton

Untuk menghitung torsi turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut, (*Finnemore dan Franzini, 2006*):

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

T = Torsi putaran turbin (Nm)

r = Jari – jari *runner* (m)

F = Gaya Tangensial Turbin (N)

10. Energi mekanik turbin.

Untuk menghitung energi mekanik turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut, (*Finnemore dan Franzini, 2006*):

$$P_{mk} = \frac{2\pi n T}{60} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

P_{mk} = Daya mekanik turbin (W)

T = Torsi turbin (N.m)

n = jumlah putaran turbin (rpm)

11. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin air ditentukan oleh besarnya debit air dan tinggi jatuh air (head) serta efisiensi dari turbin air tersebut. Daya turbin air ditentukan menurut persamaan sebagai berikut (Ing A. Nouwern, 1981) :

$$P = \rho g Q H \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

ρ = Densitas (kg/m^3)

g = gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

H = beda ketinggian (m)

12. Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin ditentukan oleh perbandingan daya hidraulik dengan daya poros turbin. Dalam bentuk persamaan adalah sebagai berikut :

(Finnemore dan Franzini, 2006)

$$\eta = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \text{ atau } \eta = \frac{\tau \times \omega}{\rho \times g \times H \times Q} \times 100 \% \dots\dots\dots (12)$$

Dimana : P_H = Daya hidraulik (watt)

P_T = Daya Poros (watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

2.7.Konsep Dasar Pompa

2.7.1. Pengertian Fluida

Fluida didefinisikan sebagai zat atau substansi yang akan mengalami deformasi secara berkesinambungan apabila terkena gaya geser (gaya tangensial) sekecil apapun. Berdasarkan mampu mampatnya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Berdasarkan sifat alirannya fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, transisi dan turbulen. Berdasarkan hubungan antara laju deformasi dan tegangan gesernya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *newtonian fluid* dan *non-newtonian fluid*. Berdasarkan gaya yang bekerja pada fluida dan gerakannya, fluida dibagi 2 yaitu fluida statis dan dinamis.

2.7.2. Pengertian Debit

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt). Dalam laporan-laporan teknis, debit biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (Chay Asdak, 2007: 190).

Penentuan debit dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui data debit yang diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) dan melalui pengukuran langsung yang menghasilkan debit sesaat. Pembangunan PLTMH yang mengambil aliran air langsung dari sungai tanpa menggunakan bendungan atau waduk sebagai penyimpan air, maka perlu memperhatikan debit andalan dari sungai yang disadap. Debit andalan adalah dapat dipakai untuk berbagai keperluan yang dinyatakan presentase. Untuk pembangkit listrik tenaga air debit andalan yang digunakan adalah 80% - 90%. Debit andalan 80% artinya debit yang selalu disamai dan dilampaui sepanjang 80% waktu, apabila satuan waktu dalam hari (1 tahun= 365 hari) maka debit andalan 80% adalah debit minimum dan selebihnya selama 80% dikalikan 365 hari. Pengukuran debit aliran dapat dilakukan dengan mengukur waktu tempuh pelampung untuk panjang atau jarak tertentu yang ditentukan. Dari besaran jarak dan waktu dapat dihitung kecepatan air. Karena pelampung hanya mengukur kecepatan pada permukaan air diperlukan modifikasi

(mengisi pelampung dengan air agar massa jenisnya hampir sama dengan air sehingga melayang) agar kecepatannya bisa mewakili seluruh luas penampang (Menik Windarti, 2014).

PLTMH skala kecil sangat tergantung dengan ketersediaan air dan kondisi alam sekitar pembangkit, untuk itu perkiraan debit air dan maksimum sangat penting dalam suatu perencanaan. Untuk menghitung jumlah debit air dapat digunakan persamaan 2.

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots (1)$$

(Sumber : Warren L. McCabe hal. 63)

Dimana :

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

2.7.3. Pengertian Head

Head didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida. Satuan dari *head* (H) adalah meter atau feet fluida. Di dalam pompa, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, bila pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama. Menurut persamaan Bernoulli, terdapat tiga macam *head* dari sistem instalasi aliran, yaitu *head* kecepatan, *head* potensial dan *head* tekanan, sebagai berikut:

- a. *Head* tekanan adalah perbedaan *head* yang disebabkan perbedaan tekanan statis (*head* tekanan) fluida pada sisi tekan dan sisi isap.
- b. *Head* kecepatan adalah perbedaan antara *head* kecepatan zat cair pada sisi tekan dengan *head* kecepatan zat cair pada sisi isap.
- c. *Head* potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap.

2.7.4. Pengertian Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya

tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida.

Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (*head*) dari pompa.

a. Kapasitas (Q)

Merupakan volume fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari kapasitas (Q) adalah m^3/s , liter/s, atau ft^3/s .

b. Putaran (n)

Putaran adalah putaran poros (impeler) pompa, dinyatakan dalam satuan rpm. Putaran diukur dengan menggunakan tachometer.

c. Torsi (T)

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan dinamometer, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (L). Satuan dari torsi adalah Nm.

d. Daya (P)

Daya dibagi menjadi dua macam yaitu daya poros yang merupakan daya dari motor listrik serta daya air yang dihasilkan oleh pompa. Satuan daya adalah watt.

e. Efisiensi (η)

Merupakan perbandingan antara daya air yang dihasilkan dari pompa dengan daya poros dari motor listrik.

2.7.5. Klasifikasi Pompa

Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

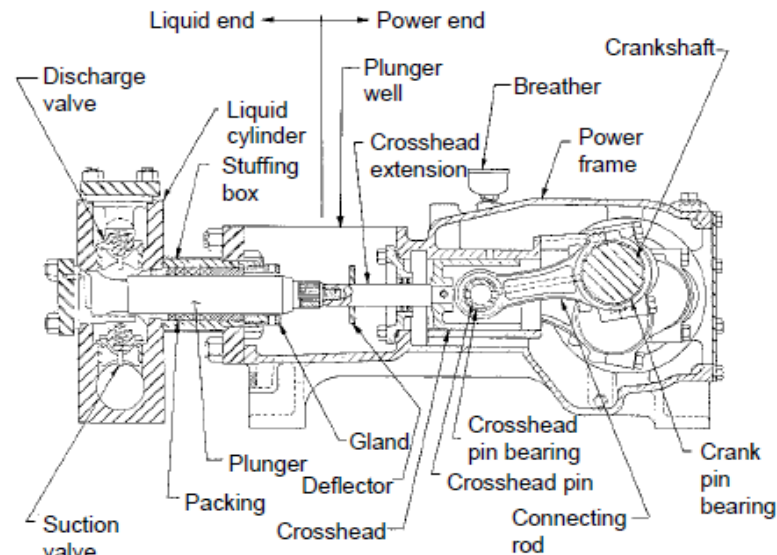
a. *Positive Displacement Pump*

Merupakan pompa yang menghasilkan kapasitas yang *intermittent*, karena fluida ditekan di dalam elemen-elemen pompa dengan volume tertentu. Ketika fluida masuk, langsung dipindahkan ke sisi buang sehingga tidak ada kebocoran (aliran balik) dari sisi buang ke sisi masuk. Kapasitas dari pompa ini kurang lebih berbanding lurus dengan jumlah putaran atau banyaknya gerak bolak-balik

pada tiap satuan waktu dari poros atau engkol yang menggerakkan. Pompa jenis ini menghasilkan *head* yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa ini dibagi lagi menjadi:

1. *Reciprocating Pump* (Pompa Torak)

Pada pompa ini, tekanan dihasilkan oleh gerak bolak-balik translasi dari elemen-elemennya, dengan perantaraan *crankshaft*, *camshaft*, dan lain-lainnya. Pompa jenis ini dilengkapi dengan katup masuk dan katup buang yang mengatur aliran fluida keluar atau masuk ruang kerja. Katup-katup ini bekerja secara otomatis dan derajat pembukaannya tergantung pada fluida yang dihasilkan. Tekanan yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu lebih dari 10 atm. Kecepatan putar rendah yaitu 250 sampai 500 rpm. Oleh karena itu, dimensinya besar dan sangat berat. Pompa ini banyak dipakai pada pabrik minyak dan industri kimia untuk memompa cairan kental, dan untuk pompa air ketel pada PLTU. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 3. Skema Pompa Torak.

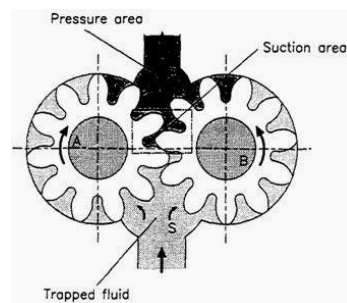
(Sumber: Sularso, 2006)

2. *Rotary Pump*

Tekanan yang dihasilkan dari pompa ini adalah akibat gerak putar dari elemen-elemennya atau gerak gabungan berputar. Prinsip kerjanya adalah fluida yang masuk ditekan oleh elemen-elemen yang memindahkannya ke sisi buang kemudian menekannya ke pipa tekan. Karena tidak memiliki katup-katup, maka pompa ini dapat bekerja terbalik, sebagai pompa maupun sebagai motor. Pompa ini bekerja pada putaran yang tinggi sampai dengan 5000 rpm atau lebih. Karena keuntungan tersebut, pompa ini banyak dipakai untuk pompa pelumas dan pada *hydraulic power transmission*. Pompa yang termasuk jenis ini adalah:

a. *Gear Pump* (Pompa Roda Gigi)

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya dua buah roda gigi berpasangan yang terletak dalam rumah pompa akan menghisap dan menekan fluida yang dipompakan. Fluida yang mengisi ruang antar gigi ditekan ke sisi buang. Akibat diisinya ruang antar sisi tersebut maka pompa ini dapat beroperasi. Aplikasi dari pompa ini adalah pada sistem pelumasan, karena pompa ini menghasilkan *head* yang tinggi dan debit yang rendah. Contoh pompa roda gigi terdapat pada gambar 6.



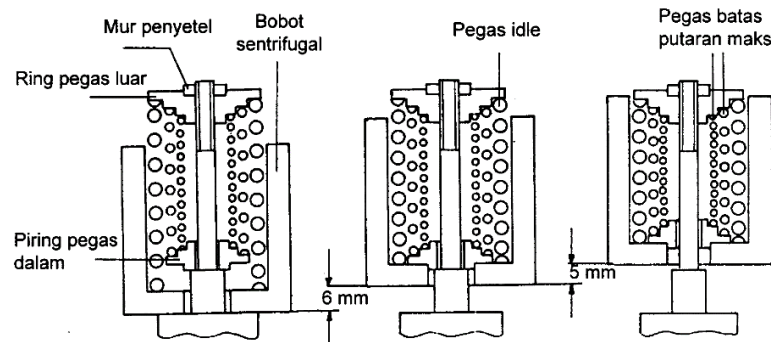
Gambar 4. Pompa Roda Gigi.

Sumber: Sularso, 2006

b. Pompa Piston

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya selubung putar menyebabkan piston bergerak sesuai dengan posisi ujung piston di atas piring dakian. Fluida terhisap ke dalam silinder dan ditekan ke saluran buang akibat gerakan naik turun piston. Fungsi dari pompa ini adalah

untuk pemenuhan kebutuhan *head* tinggi dan kapasitas rendah. Skema pompa piston ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5. Skema pompa piston.

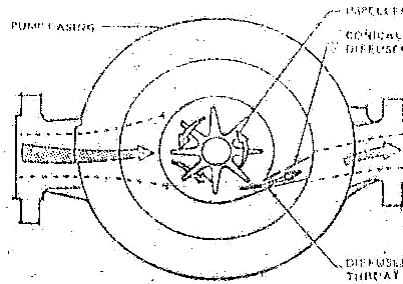
(Sumber: Sularso, 2006)

b. *Dynamic Pump*

Merupakan pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Untuk merubah kenaikan tekanan, tidak harus mengubah volume aliran fluida. Dalam pompa ini terjadi perubahan energi, dari energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan suatu impeler yang berputar dengan kecepatan tinggi. Pompa yang termasuk di dalam jenis pompa ini antara lain:

1. Pompa Aksial

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya impeler akan menghisap fluida yang dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan *head* rendah dan kapasitas tinggi, seperti pada sistem pengairan. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 8.



Gambar 6. Pompa aksial

(Sumber: Sularso, 2006)

2. Pompa Sentrifugal

Elemen pokok dari pompa ini adalah sebuah rotor dengan sudu-sudu yang berputar pada kecepatan tinggi. Fluida yang masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan tekanan maupun kecepatannya, dan melempar fluida keluar melalui *volute* atau rumah siput. Pompa ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan *head* medium sampai tinggi dengan kapasitas aliran medium. Dalam aplikasinya, pompa sentrifugal banyak digunakan untuk proses pengisian air pada ketel dan pompa rumah tangga.

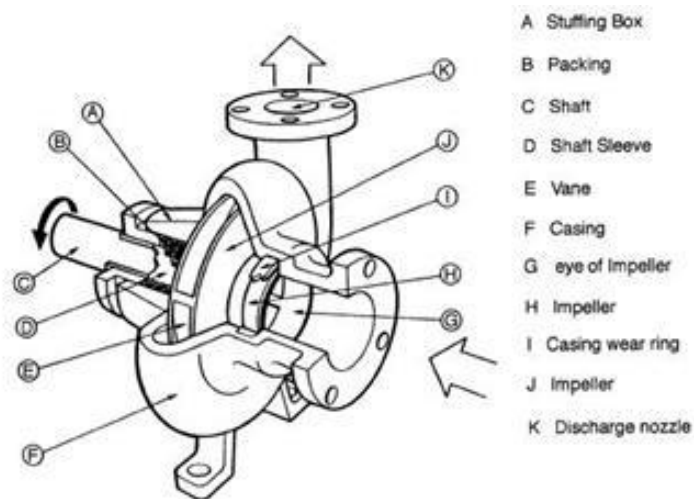
Secara garis besar, pompa bekerja dengan cara mengubah energi mekanik dari poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa, kemudian menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Demikian pula pada pompa sentrifugal, agar bisa bekerja pompa membutuhkan daya dari mesin penggerak pompa. Berputarnya impeler menyebabkan tekanan vakum pada sisi isap pompa, akibatnya fluida yang mengalir terhisap masuk ke dalam impeler. Di dalam impeler, fluida mendapatkan percepatan sedemikian rupa dan terkena gaya sentrifugal, sehingga fluida mengalir keluar dari impeler dengan kecepatan tertentu. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi energi tekanan di dalam rumah pompa. Besarnya tekanan yang timbul tergantung pada besarnya kecepatan fluida.

Bagian-bagian dari pompa sentrifugal, sebagai berikut:

a. Rumah Pompa

Rumah pompa memiliki beberapa fungsi, antara lain:

1. Berfungsi sebagai pengarah fluida yang dilemparkan impeler. Akibat gaya sentrifugal yang menuju pompa tekan, sebagian energi kinetik fluida diubah menjadi tekanan.
2. Menutup impeler pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan.
3. Memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan impeler.



Gambar 7. Penampang memanjang pompa sentrifugal

(Sumber: Sularso, 2006)

b. Poros Pompa

Sebagai penerus putaran penggerak kepada impeler dan pompa. Poros pompa dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Poros pompa datar atau horizontal
2. Poros pompa tegak atau vertikal

c. Cincin Penahan Keausan atau Cincin Perapat (*Waring Ring*)

Untuk mencegah keausan rumah pompa dan impeler pada sambungan yang bergerak (*running joint*), maka dipasang cincin penahan keausan (*waring ring*) yang disebut juga cincin rumah pompa atau cincin perapat.

d. Bantalan Poros

Bantalan yang banyak dipakai pada pompa sentrifugal adalah bantalan anti gesek, selongsong, rol bola, dan bantalan *kingsbury*. Bantalan anti gesek dapat berupa baris tunggal atau ganda. Bantalan rol banyak dipakai untuk poros pompa berukuran besar.

e. Selongsong Poros

Berfungsi untuk mencegah kebocoran udara ke dalam pompa bila beroperasi dengan tinggi isap (*suction lift*) dan untuk mendistribusikan cairan perapat secara merata di sekeliling ruang cincin (*anular space*) antara lubang peti dan permukaan selongsong poros. Selongsong poros disebut juga sangkar perapat atau cincin *lantern*. Selongsong poros ini menerima cairan yang bertekanan dari pompa atau sumber tersendiri lainnya. Terkadang digunakan minyak gemuk sebagai medium perapat apabila cairan yang bersih tidak tersedia atau tidak dapat dipakai (pompa air kotor).

f. Peti Gasket

Berfungsi untuk mencegah udara bocor ke dalam rumah pompa bila tekanan di dalamnya berada di bawah tekanan atmosfer.

g. Perapat Poros (Perapat Mekanis)

Digunakan untuk mencegah kebocoran di sekeliling poros. Perapat poros ini juga dipakai apabila peti gasket tidak dapat mencegah kebocoran secara maksimal. Permukaan perapat tegak lurus terhadap poros pompa dan biasanya terdiri dari dua bagian yang dihaluskan dan dilumasi. Perapat poros dibedakan menjadi dua, yaitu jenis dalam dan jenis luar. Jenis luar dipakai apabila cairan yang dipompa berpasir dan tidak diinginkan adanya kebocoran pada peti gasket. Jenis dalam digunakan untuk cairan yang mudah menguap.

2.8. Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan suatu rangkaian pipa yang saling terhubung satu sama lain secara hidrolis. Sehingga perubahan di satu bagian pipa akan menyebabkan pengaruh pada bagian-bagian lain pada jaringan. Pengaruh ini dapat dideteksi dari segi perubahan tekanan dalam pipa. Sistem perpipaan terdiri dari pipa, katup (*valves*), alat penyambung (*fittings*) yang berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat yang disebabkan oleh adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakannya pompa.

Pipa merupakan saluran tertutup berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas. Secara umum karakteristiknya ditentukan berdasarkan material (bahan) penyusunnya. Ukuran diameter pipa didasarkan pada diameter "Nominal" antara diameter luar (OD) atau diameter dalam (ID).

Valve merupakan sistem perpipaan yang berfungsi menutup, mengalirkan, mengisi, atau mengalihkan suatu fluida yang mengalir di dalam pipa. Adapun cara pengoperasian *valve* dapat dilakukan secara manual, otomatis, atau kombinasi dari keduanya. Untuk pemilihan material *valve* pada sistem perpipaan telah diatur dalam ASME 16.34.

Fittings merupakan komponen sistem perpipaan yang membuat perubahan arah jalur pipa, perubahan diameter jalur pipa dan percabangan pipa. *Fittings* merupakan komponen-komponen pipa yang berkaitan dengan penyambungan, baik pipa dengan pipa, dan pipa dengan peralatan seperti *elbow* dan *tee*. *Elbow* adalah jenis *fitting* yang dipasangkan pada pipa pada saat pipa akan berubah arah perjalanannya. Sedangkan *tee* adalah sebuah komponen yang mempunyai tujuan untuk membagi aliran fluida dalam pipa menjadi dua arah atau sebaliknya menggabungkan dua aliran fluida menjadi satu didalam pipa selanjutnya. (William G. Ovens, 1977).

2.9. Nozzle

Nozzel adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat keluar (atau memasuki) sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah *nozzel* sering berbentuk pipa atau tabung dari berbagai variasi luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida (cairan atau gas). *Nozzel* sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. Kecepatan *nozzel* dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Prinsip utama penggunaan *nozzel* untuk fluida air atau tak mampat menggunakan prinsip hukum kontinuitas yaitu kekekalan massa.



Gambar 8. *Nozzle*
(sumber : Google Image)

Klasifikasi jenis-jenis *nozzel* air sebagai berikut:

1. *Nozzel Jet*

Nozzel jet memiliki diameter yang lebih besar dan tekanan yang lebih rendah pada bagian input dari pada bagian output yang memiliki diameter lebih kecil dan tekanan yang lebih besar akibat pengecilan diameter.

2. *Nozzel Magnetic*

Magnetic nozzle juga telah diusulkan untuk beberapa jenis penggerak, di mana aliran plasma diarahkan oleh medan magnet, bukan dinding yang terbuat dari materi padat.

3. *Nozzel Spray*

Nozzel spray memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan *nozzel jet* namun memiliki diameter yang lebih kecil dan terjadi perluasan aliran *output* fluida atau memecah aliran fluida (*aerosol*).

2.10. Generator

Generator digunakan sebagai alat untuk merubah energi putar mekanis menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir dikumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarnya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan (Jasa, dkk, 2010).

Generator merupakan salah satu mesin listrik, untuk mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. (Nurhadi, dkk 2013).

Generator merupakan piranti atau peralatan listrik yang dapat digunakan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik yang terdiri dari dua jenis yaitu generator arus searah DC dan generator arus bolak-balik AC (Wahab, 2009).

Dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri dari atas magnet dan kumparan. Bilamana terdapat suatu gerakan antara kedua komponen diatas, garis - garis gaya magnet memotong belitan - belitan kumparan dan suatu gerak gaya listrik (ggl) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator modern atas suatu sistem elektro magnet dan suatu almatuur yang terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi.